

На правах рукописи

ОВЧИННИКОВ ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ НАСОСНО-
КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ ИЗ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ**

Специальность 05.16.05 «Обработка металлов давлением»

Автореферат

диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Екатеринбург – 2011

Работа выполнена на кафедре обработки металлов давлением в ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» и в ОАО «Синарский трубный завод».

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор **Богатов Александр Александрович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор **Выдрин Александр Владимирович**
ОАО «РосНИТИ»

доктор технических наук,
профессор **Паршин Сергей Владимирович**
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Ведущая организация: ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Защита диссертации состоится «2» декабря 2011 г. в 15-00 часов в ауд. Мт-329 на заседании Диссертационного совета Д212.285.04 в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б.Н.Ельцина по адресу: 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19. Телефон (343) 375-45-74, факс (343) 375-44-39. E-mail: omd@mtf.ustu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УрФУ.

Автореферат разослан «17» октября 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Л.А.Мальцева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа выполнялась с 2002 по 2011 гг. в соответствии с Федеральной научно-технической целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», по государственному контракту №02.740.11.0152 «Разработка комплексной металлургической технологии производства высококачественных стальных изделий массового назначения» (шифр «2009-1.1233-032-007»), а также в рамках стратегической инвестиционной программы ОАО «ТМК» и ОАО «СинТЗ» по реконструкции ТПА-80.

Актуальность работы. В настоящее время к трубам нефтяного сортамента, эксплуатируемым в условиях Крайнего Севера и Сибири, а также для нефтеносных районов, характеризующихся высокой коррозионной активностью, предъявляются особые требования по хладостойкости, коррозионной стойкости, прочности и вязкости разрушения металла. Удовлетворение растущих потребностей заказчика возможно только благодаря производству труб с высококачественной структурой стали, прошедших термообработку.

В условиях ужесточения требований к трубам для снижения себестоимости продукции целесообразно использование непрерывно-литого металла в качестве трубной заготовки. Современная технология электросталеплавильного производства, основанная на получении низкопримесного расплава, внепечной обработки и, при необходимости, вакуумирования стали, могут обеспечивать производство высококачественных непрерывно-литых заготовок и готовых труб. Однако существующие процессы прошивки затрудняют стабильное получение из литой заготовки высококачественной гильзы вследствие ярко выраженной литой структуры металла и наличия осевой пористости. В этом случае предварительное обжатие литых заготовок способом винтовой прокатки является весьма эффективным, но требует использования дополнительной технологической операции.

В связи с этим разработка эффективной технологии производства труб нефтяного сортамента из непрерывно-литых заготовок с предварительным об-

жатию на трехвалковом стане винтовой прокатки перед прошивкой является актуальной научно-технической задачей.

Цели и задачи работы. Целью работы является разработка, исследование и внедрение технологии производства высококачественных насосно-компрессорных труб из непрерывно-литой заготовки на трубопрокатном агрегате ТПА-80 ОАО «СинТЗ».

Для достижения указанной цели в работе сформулированы и решены следующие задачи:

- разработать новую технологическую схему производства насосно-компрессорных труб, в том числе высокопрочных в хладостойком и коррозионно-стойком исполнениях из непрерывно-литой заготовки;
- изучить формоизменение металла в нестационарных стадиях процесса обжатия заготовки на трехвалковом стане винтовой прокатки;
- найти технические решения по улучшению технологии производства труб с использованием обжимного стана в линии ТПА-80 с целью снижения уровня брака;
- разработать новый способ резки заготовок, обеспечивающий получение рациональной формы концов и отсутствие утяжин после винтовой прокатки на обжимном стане;
- исследовать изменение макро- и микроструктуры, а также оценить уровень механических свойств при производстве труб по новой технологии;
- освоить производство насосно-компрессорных труб из непрерывно-литой заготовки, в том числе в хладостойком и коррозионно-стойком исполнениях следующих групп прочности: по ГОСТ – Д, К, Е, Л, М и по API 5CT – N80, L80, P110;
- обеспечить снижение себестоимости труб на 10% и брака по прокату с 5-6% до 1-2%.

Научная новизна, ценность для науки и практики:

- получены закономерности изменения формы концевых частей заготовки при обжатии на трехвалковом стане винтовой прокатки;

- получена оценка влияния калибровки валков и режимов обжатия на формоизменение концевых частей заготовки при винтовой прокатке на трехвалковом стане;
- дана теоретическая оценка эффективности технологической операции предварительного профилирования конца заготовки на формоизменение металла при винтовой прокатке;
- изучены методами физического и математического моделирования закономерности формоизменения металла при новом способе резки заготовок, обеспечивающем одновременно разделение и профилирование ее концов;
- впервые получены результаты комплексного сравнительного исследования макро- и микроструктуры стали, а также уровня механических свойств труб после каждой технологической операции производства насосно-компрессорных труб из катаной и непрерывно-литой заготовки, иллюстрирующие эффективность применения обжатия литой заготовки;
- разработан и всесторонне исследован новый способ производства насосно-компрессорных труб из непрерывно-литой заготовки.

Практическая значимость и реализация результатов работы:

- разработана и запатентована технология производства труб нефтяного сортамента из непрерывно-литых заготовок с применением дополнительной операции обжатия металла перед прошивкой (патент РФ №2361689), технология внедрена на ОАО «СинТЗ» и используется для производства насосно-компрессорных труб всего сортамента ТПА-80;
- результаты исследования процесса обжатия сплошных заготовок на трехвалковом стане способствовали определению оптимальных режимов деформации, созданию методики расчета калибровки валков обжимного стана винтовой прокатки, разработке патентно-охраняемой калибровки (патент РФ №2377085);
- всесторонне исследован новый способ резки, обеспечивающий одновременно разделение заготовки и профилирование ее концов, а также найдена оптимальная форма ножей (подана заявка на патент № 2011118932);

– освоено на ОАО «СинТЗ» производство хладостойких и коррозионно-стойких насосно-компрессорных труб групп прочности по ГОСТ – Д, К, Е, Л, М и по API 5CT – N80, L80, P110, достигнуто снижение себестоимости на 10% и уменьшение брака по прокату в среднем в 2 раза;

– результаты работы используются в учебном процессе в рамках дисциплин «Технология трубного производства» и «Оборудование трубных цехов» по направлению «Металлургия», специальность «Обработка металлов давлением» (150106), а также при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Методы исследований и достоверность результатов. Для исследования процессов резки и винтовой прокатки сплошных заготовок использовалось физическое и математическое моделирование. Математическое моделирование проведено с использованием программы Deform-3D¹, основанной на методе конечных элементов, при этом построение геометрических моделей инструмента осуществлялось с помощью системы твердотельного моделирования Компас-3D. Результаты исследований хорошо согласуются с данными промышленных исследований, проведенных на ТПА-80.

Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается использованием современных методов механики обработки металлов давлением и воспроизводимостью результатов теоретического исследования, лабораторных и промышленных экспериментов, а также использованием методов математической статистики при обработке экспериментальных данных.

Апробация работы. Основные положения диссертации и ее отдельные результаты доложены и обсуждены на: VII Конгрессе прокатчиков (г. Москва, 2007); Неделя металлов в Москве (г. Москва, 2007); XVII Международной научно-технической конференции «ТРУБЫ – 2009» (г. Челябинск, 2009); XVIII Международной научно-технической конференции «ТРУБЫ – 2010» (г. Челябинск, 2010); Международной конференции «Форсированное индустриальное инновационное развитие в металлургии» (Республика Казахстан, 2010); VIII

¹ Лицензия №9910, выданная ОАО «Синарский трубный завод»

Конгрессе прокатчиков (г. Магнитогорск, 2010), 9-ой международной научно-технической конференции «Современные металлические материалы и технологии» (Санкт-Петербург, 2011).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 10 печатных работах, из них 2 статьи – в рецензируемых журналах, получено 2 патента РФ, подана 1 заявка на изобретение.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, изложена на 247 страницах машинописного текста (145 страницах без приложений), содержит 129 рисунков, 36 таблиц, библиографический список из 44 источников, включая зарубежные публикации, и 10 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы, сформулирована цель и задачи исследования, отражена научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе представлен обзор литературных источников по проблеме и описаны особенности формоизменения металла при радиально-сдвиговой прокатке и резке круглых заготовок на ножницах. Проведен анализ работ известных отечественных и зарубежных ученых, таких как С.П.Галкин, Р.М.Голубчик, П.Т.Емельяненко, В.Я.Осадчий, Е.И.Панов, П.И.Полухин, И.Н.Потапов, Б.А.Романцев, В.С.Смирнов, П.К.Тетерин, И.А.Фомичев, А.И.Целиков, В.В.Швейкин и др, посвященных использованию радиально-сдвиговой прокатки для обжатия круглых заготовок. При этом особое внимание уделено преимуществам указанного процесса перед другими способами деформации. Отмечены такие достоинства как обеспечение благоприятных условий для интенсивной деформационной проработки структуры и повышения плотности металла по всему сечению заготовки, а также меньшие энергосиловые затраты на деформацию по сравнению с другими способами прокатки.

Рассмотрены структурные изменения стали в процессе радиально-сдвиговой прокатки. В результате анализа работ выявлено положительное

влияние больших коэффициентов вытяжки и повышенных значений углов подачи на макро- и микроструктуру стали.

Более подробно рассмотрено формоизменение металла при прокатке, при этом изменение формы концов заготовок было связано с процессом разрушения металла в осевой зоне. Рассмотрены мнения разных ученых на причины образования утяжин на концах заготовок, а также рассмотрено влияние на величину утяжины таких технологических параметров как величина относительного обжатия, количество рабочих валков, значение угла подачи, а также калибровка валков обжимного стана.

В результате анализа работ, посвященных винтовой прокатке при повышенных углах подачи, показана высокая эффективность этого процесса для подготовки непрерывно-литого металла к прошивке.

Дополнительно в первой главе рассмотрены вопросы формоизменения металла при резке круглых заготовок на ножницах. Представлена классификация схем резки и описано влияние механических свойств металла, температуры нагрева и скорости резки на формоизменение концевых частей заготовок.

По результатам проведенного обзора научно-технической литературы сформулированы задачи исследований:

- разработать инновационную технологию производства высококачественных насосно-компрессорных труб, в том числе высокопрочных, а также в коррозионностойком и хладостойком исполнениях, с целью эффективного использования непрерывно-литых заготовок;
- исследовать формоизменение металла в нестационарной стадии процесса обжатия заготовок на стане винтовой прокатки в зависимости от калибровки и настройки рабочих валков, а также режимов прокатки;
- провести анализ изменения макро- и микроструктуры, а также уровня механических свойств стали после каждой операции изготовления труб по новой технологической схеме;
- найти техническое решение модернизации технологии производства труб на ТПА-80 с целью снижения уровня брака по дефектам вида «раковина-вдав»;

- разработать новый способ резки заготовок, обеспечивающий получение рациональной формы концов заготовок после резки и отсутствие утяжин после обжатия на стане винтовой прокатки.

Вторая глава посвящена изучению формоизменения трубной заготовки в нестационарных стадиях процесса обжатия и совершенствованию технологии винтовой прокатки на трехвалковом стане с целью повышения качества готовых труб.

Проведенный анализ технологии производства труб из непрерывно-литых заготовок на ТПА-80 выявил недостатки предложенной технологии, обусловленные образованием в процессе обжатия концевых утяжин, появлением отслоений металла в виде полуколец на заднем конце гильзы после прошивки и образованием дефектов в виде «раковина-вдав» на поверхности готовых труб (более половины всего брака).

В главе представлены результаты физического и математического моделирования, а также результаты промышленных экспериментов, направленных на изучение процесса образования утяжин и определение оптимальных режимов деформации для уменьшения их глубины.

При проведении физического моделирования процесс обжатия непрерывно-литых заготовок был заменен поперечной прокаткой пластилиновых образцов. При этом изучалось влияние на образование утяжин таких технологических параметров как угол подачи и исходная форма концов заготовок. Исследование проведено с помощью двух установок клиновой прокатки, моделирующих обжатие заготовок при углах подачи 12° и 18° . Опытной прокатке подвергались образцы с различной формой концов. Достоверность результатов физического моделирования была подтверждена качественным соответствием форм утяжин, образующихся на непрерывно-литых заготовках и пластилиновых образцах. Результаты физического моделирования позволяют утверждать, что с ростом угла подачи при винтовой прокатке глубина утяжин уменьшается, а при прокатке заготовок с профилированным концом образование утяжин полностью отсутствует.

Для математического моделирования винтовой прокатки была использована программа Deform-3D, в основе которой заложен метод конечных элементов. Изучалось влияние на глубину утяжин диаметра заготовки, угла подачи, калибровки валков обжимного стана, а также исходной формы концов заготовок (рисунок 1).

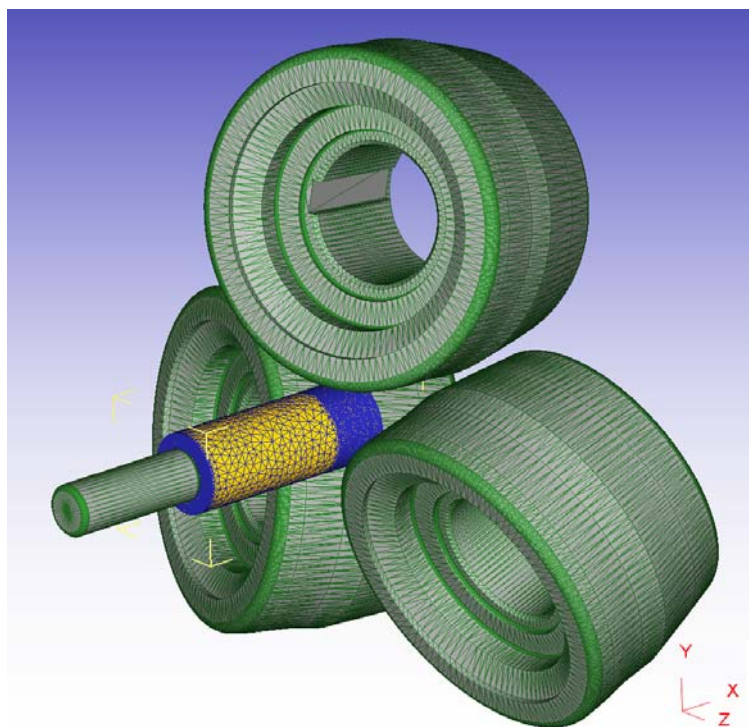


Рисунок 1 – Модель обжимного стана в Deform-3D

При математическом моделировании был составлен план вычислительного эксперимента, включающий в себя решение задач для заготовок диаметром 150 мм и 156 мм, при углах подачи 12° , 16° и 18° , для различных калибровок валков обжимного стана и форм концов заготовки. Стадии образования утяжин показаны на рисунке 2.

В результате решения задач конечно-элементного моделирования получены следующие результаты. С увеличением относительного обжатия по диаметру заготовки с 20,7 до 24,9% относительная глубина утяжины возрастает на 39,7%. Установлено, что при увеличении угла подачи с 12° до 18° относительная глубина утяжины уменьшается на 20,7% (рисунок 3).

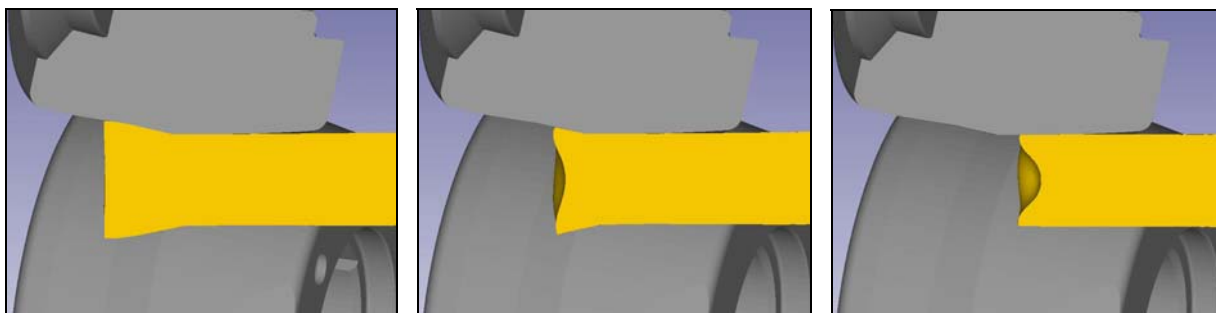


Рисунок 2 – Стадии образования утяжин на заднем конце заготовки

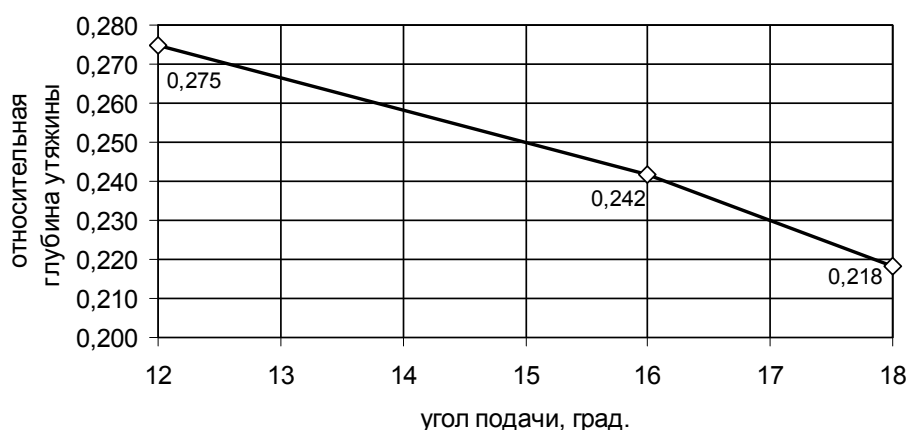


Рисунок 3 – Зависимость относительной глубины утяжины от угла подачи

Использование опытной калибровки валков обжимного стана позволило уменьшить глубину утяжин на 6,1%. Придание концу заготовки рациональной формы позволило уменьшить относительные размеры утяжин на 57,5%.

В результате расчетов было показано, что в наибольшей степени на глубину утяжин оказывают влияние придание специальной формы концам заготовок перед обжатием, величина относительного обжатия и угол подачи. Оптимальными являются режимы деформации при которых глубина утяжины минимизируется.

Для сравнения с расчетными данными в работе получены результаты промышленного исследования формоизменения металла в нестационарных стадиях обжатия. Для выполнения промышленных экспериментов был составлен план опытных работ. В качестве исследуемых параметров были выбраны относительная глубина утяжины и количество дефектов в виде раковин на наружной и внутренней поверхности готовых труб. Изучено влияние на относительную глубину утяжины и качество готовых труб таких параметров как угол по-

дачи, калибровка валков обжимного стана, исходная форма концов заготовок и износ инструмента.

На первом этапе исследований изучалось влияние исходной формы конца заготовок и объема прокатанных труб при углах подачи 14° , 16° , 18° и 20° , а также влияние угла подачи при использовании серийной калибровки инструмента. В результате установлено, что с увеличением угла подачи во всех исследуемых случаях произошло уменьшение глубины утяжины на величину до 26,6%, а снижение уровня брака по раковинам составило не более 1%.

Далее был изучен характер изменения глубины утяжины в случае использования опытной калибровки валков обжимного стана. Результаты анализа полученных данных представлены на рисунке 4. Определено, что характер зависимости относительных размеров утяжин и качества готовой продукции от исследуемых факторов, сохраняется, при этом глубина утяжин в среднем на 10% меньше, чем для серийной калибровки.

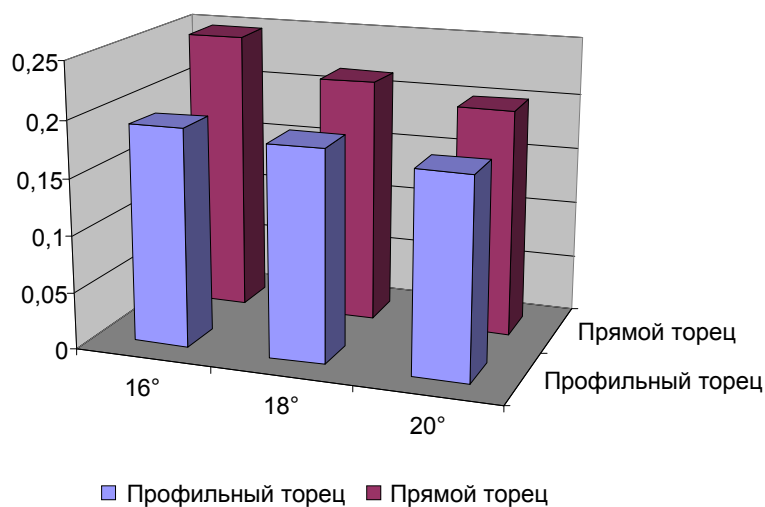


Рисунок 4 – Значения относительной глубины утяжины

При обжати непрерывно-литых заготовок, предварительно разрезанных на ножницах горячей резки и, как следствие, имеющих конец выпуклой формы, относительная глубина образующихся утяжин во всех случаях меньше, чем для заготовок, имеющих плоский торец. При прокатке заготовки с предварительно профилированным концом обеспечено уменьшение глубины утяжины на 62%. С увеличением объема прокатанных труб в среднем с 1000 до 20 000 т без пере-

валки инструмента обжимного стана, т.е. с повышением износа валков увеличение относительных размеров утяжин на 10%.

Было проверено влияние времени нагрева заготовок в печи с шагающим подом на количество дефектов вида «раковина-вдав». Установлено, что изменение режимов нагрева заготовок не оказывает однозначного влияния на относительную глубину утяжины.

При обобщении результатов комплексных исследований процесса обжатия заготовки при винтовой прокатке были выявлены следующие направления по уменьшению глубины утяжины:

- предварительное формоизменение концов заготовок перед обжатием;
- увеличение угла подачи с 12° до 18° ;
- использование опытной калибровки валков обжимного стана.

Третья глава посвящена разработке и исследованию способа профилирования концов заготовок, совмещенного с операцией резки. Придание специальной формы концам заготовки в линии ТПА на ножницах горячей резки перед обжимным станом является наиболее эффективным с точки зрения уменьшения глубины утяжины и обеспечения необходимой производительности агрегата в целом. В третьей главе представлены результаты физического, математического моделирования, а также результаты промышленных исследований нового способа резки.

Физическое моделирование выполнено на специальном устройстве, представляющем собой лабораторные ножницы с установкой деревянных ножей с различными калибровками, в т.ч. с серийной. В работе представлены чертежи разработанных ножей и формы концов пластилиновых заготовок после резки. Достоверность результатов физического моделирования подтверждена путем сравнения формы и размеров концов пластилиновых и металлических заготовок после резки. В результате физического моделирования показана принципиальная возможность разработки нового способа резки с одновременным приданием необходимой формы концу заготовки.

С целью выбора оптимальной калибровки ножей и сопутствующего инструмента прокладок выполнено математическое моделирование процесса резки. Моделирование проведено с помощью программы Deform-3D (рисунок 5).

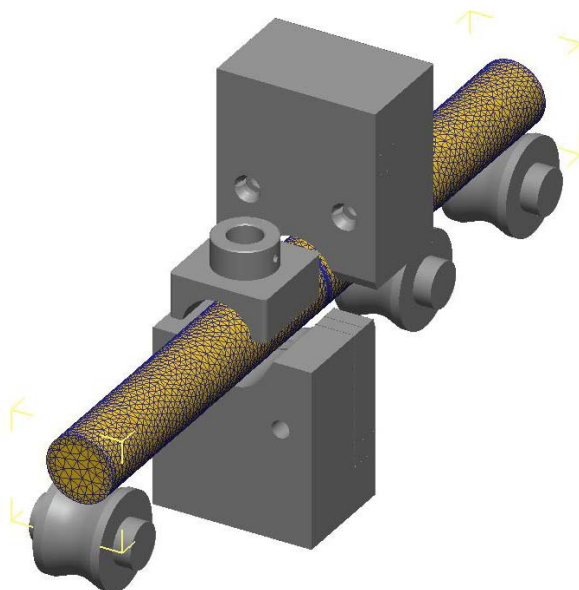
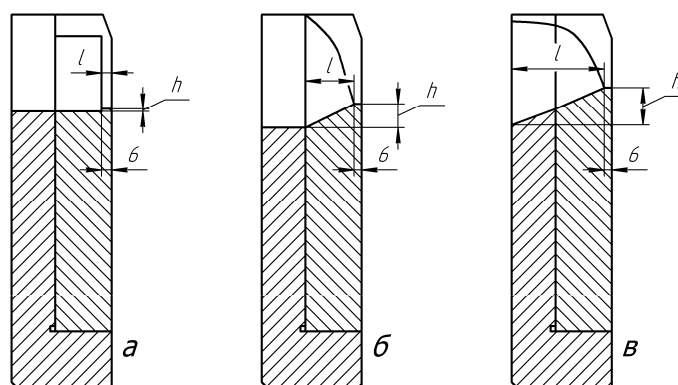


Рисунок 5 – Модель ножниц горячей резки в программе Deform-3D

При математическом моделировании было определено влияние высоты (параметр h/D_3 , где D_3 – диаметр заготовки) и длины (параметр l/D_3) «зуба» (рисунок 6), а также несимметричной схемы установки ножей на формоизменение концевых частей заготовок после резки. Математическое моделирование проведено в несколько этапов. На первом этапе были получены данные о формоизменении концевых частей заготовок при резке с использованием ножей с серийной калибровкой. Далее определялось влияние на формоизменение металла длины и высоты «зуба», а также влияние схемы установки ножей. На заключительном этапе моделирования осуществлен поиск оптимальной калибровки ножей для ножниц горячей резки.

Общий вид заготовки после резки представлен на рисунке 7. Форма концевой части характеризуется наличием участков смятия, образующихся в результате контакта металла с инструментом, и наличием участков внеконтактной деформации.



l – длина зуба; h – высота зуба

Рисунок 6 – Профили ножей и прокладок в поперечном сечении

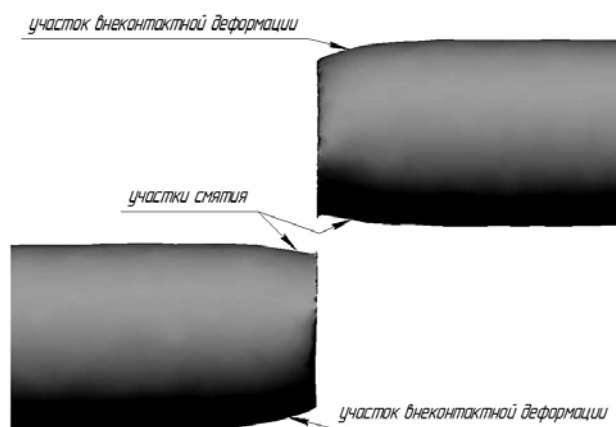
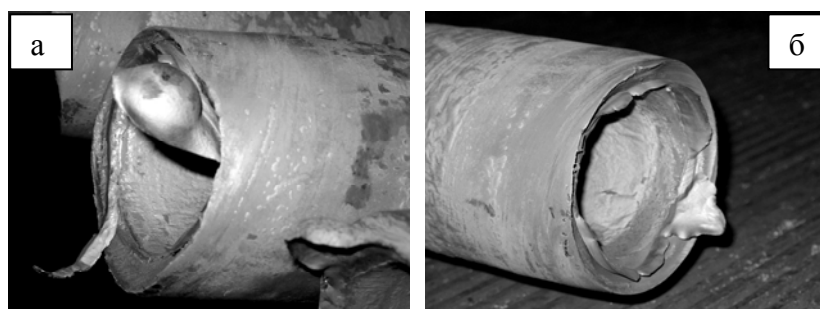


Рисунок 7 – Общий вид концов разрезанной заготовки

В результате решения задач математического моделирования было определено, что с увеличением высоты «зуба» на 11 мм высота участков смятия увеличивается в среднем на 5 мм, при этом их длина также уменьшается в среднем на 5 мм. На размеры и форму зон внеконтактной деформации высота «зуба» влияния не оказывает. Установлено, что увеличение длины зуба за счет конусной калибровки прокладки способствует увеличению зон смятия при практически постоянных размерах участков внеконтактной деформации, при этом размеры этих зон становятся практически одинаковыми, что свидетельствует об улучшении процесса резки. В работе было рассмотрено применение несимметричной схемы реза, т.е. установка на ножницах верхних и нижних ножей с различной калибровкой, что позволяет перераспределить деформацию (профилирование) между передним и задним концами заготовки. Т.к. кольцевые разрушения металла на гильзах, вызванные наличием утяжин, образуются в основном с заднего конца заготовки, то целесообразным является сконцентриро-

вать деформацию при резке на заднем конце заготовки. Расчеты показали, что применение несимметричной схемы установки ножей обеспечивает перераспределение деформации в сторону заднего конца заготовки, что является эффективным и позволяет сформировать более выпуклый задний конец заготовки.

Далее был произведен выбор оптимальной калибровки рабочего инструмента ножниц горячей резки, обеспечивающей получение более выпуклого заднего и менее выпуклого переднего конца заготовки. Результаты промышленных исследований нового способа резки, проведенных с целью проверки данных, полученных при моделировании были направлены на получение сведений о размерах образующихся утяжин при обжати после резки заготовок опытными ножами. Установлено, что результаты промышленных экспериментов и математического моделирования качественно соответствуют друг другу. Найдена оптимальная калибровка инструмента ножниц горячей резки, способствующая уменьшению глубины утяжин до таких значений, при которых образование дефектов в виде полуколец не наблюдается (рисунок 8).



а – осуществлена схема резки без профилирования конца;
б – с профилированием конца заготовки

Рисунок 8 – Конец гильзы при прошивке заготовки после обжатия

В четвертой главе представлены результаты исследования и разработки нового способа обжатия непрерывно-литых заготовок, а также новой технологической схемы производства высококачественных насосно-компрессорных труб. Создание нового способа обжатия трубных заготовок заключается в определении рациональных режимов деформации, а также калибровки рабочих валков, позволяющих осуществлять технологический процесс таким образом, чтобы интенсивно прорабатывать литую структуру металла заготовки и обеспечивать стабильный ее захват во всем диапазоне заданных величин обжатия, а так-

же предотвращать образование дефекта «раковина-вдав» на горячекатаных трубах.

С целью интенсификации проработки литой структуры металла предложено процесс обжата осуществлять с большими частными и суммарными обжатиями $\epsilon = 20 \div 30\%$ при повышенных углах подачи $\beta = 12 \div 18^\circ$. Для обеспечения стабильного захвата заготовок и уменьшения глубины утяжин на заднем конце заготовки предложена новая калибровка валков с последовательно расположенными по длине бочки несколькими участками захвата с входным конусом и несколькими обжимными конусами, а также калибрующим участком.

Новая технологическая схема ТПА-80 (рисунок 9) отличается от традиционной тем, что непрерывно-литая заготовка перед прошивкой подвергается дополнительному обжатию на трехвалковом стане винтовой прокатки, благодаря чему удастся повысить дисперсность микроструктуры стали в гильзе.

Для уменьшения брака горячекатаных труб и для исключения возможности образования дефектов в виде полуколец на заднем конце гильзы найдены и рекомендованы рациональные режимы деформации, калибровка инструмента на ножницах и обжимном стане.

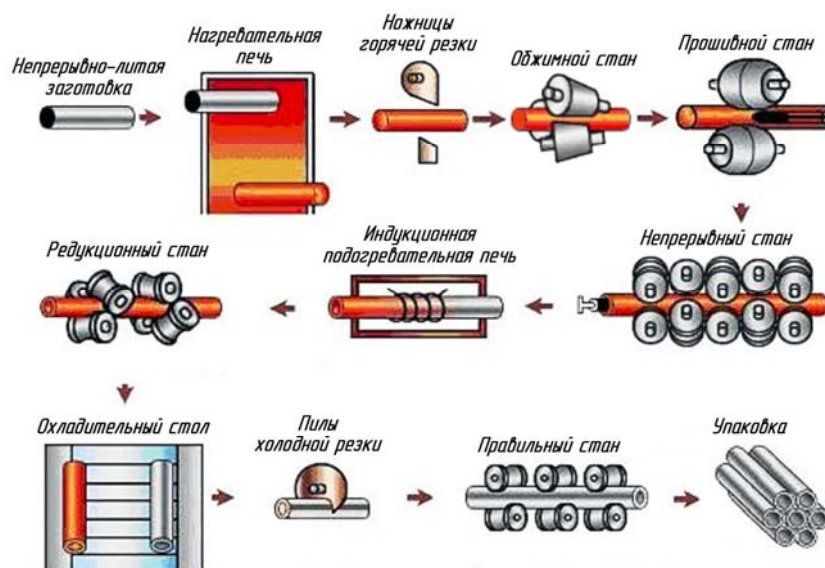


Рисунок 9 – Новая технологическая схема производства труб на ТПА-80

Для оценки эффективности новой технологии производства труб из непрерывно-литых заготовок в работе выполнен сравнительный анализ эволюции зеренной структуры и механических свойств труб, производимых на ТПА-80.

Исследования проведены для двух наиболее применяемых и проблемных в производстве насосно-компрессорных труб марок стали – 32ХГ и 38Г2СФ, при этом изменения структуры и механических свойств отслеживались после каждого стана, в т.ч. и после термообработки (для марки стали 32ХГ).

Основным дефектом макроструктуры металла всех исследованных заготовок является центральная пористость, представляющая собой мелкие или отдельные крупные пустоты – поры. Установлено, что в результате обжатия центральная пористость в заготовке сохраняется, однако диаметр пор уменьшается.

При исследовании эволюции микроструктуры стали установлено, что металл непрерывно-литых заготовок имеет крупнозернистую структуру, состоящую из перлитных участков и ферритных зерен декорирующих границы аустенитного зерна (рисунок 10,а). Металл катаной заготовки представляет собой мелкодисперсную феррито-перлитную структуру с размером аустенитного зерна 100-160 мкм (рисунок 10,б). Размер зерна литого металла превышает размер зерна катаных заготовок. Однако уже после обжатия литых заготовок на трех-валковом стане винтовой прокатки структура металла значительно измельчается и размер действительного зерна составляет 100 мкм (рисунок 11,а), тогда как размер зерна катаной заготовки после нарева в печи с шагающим подом составляет 150-200 мкм (рисунок 11,б). Это обеспечивает при дальнейшем прокате и термообработке труб формирование более равномерной мелкодисперсной микроструктуры (рисунок 12).

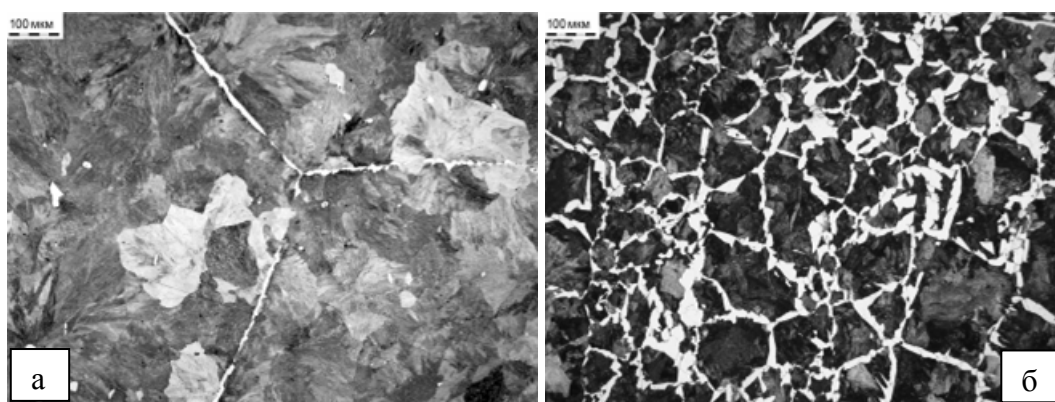


Рисунок 10 – Микроструктура металла непрерывно-литой (а) и катаной (б) заготовки

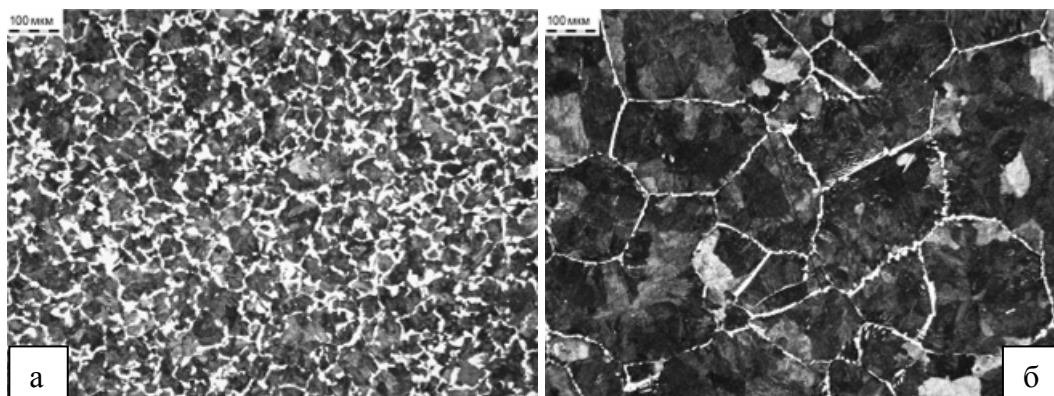


Рисунок 11– Микроструктура металла непрерывно-литой заготовки после об-
жата (а) и катаной заготовки после нагрева (б)

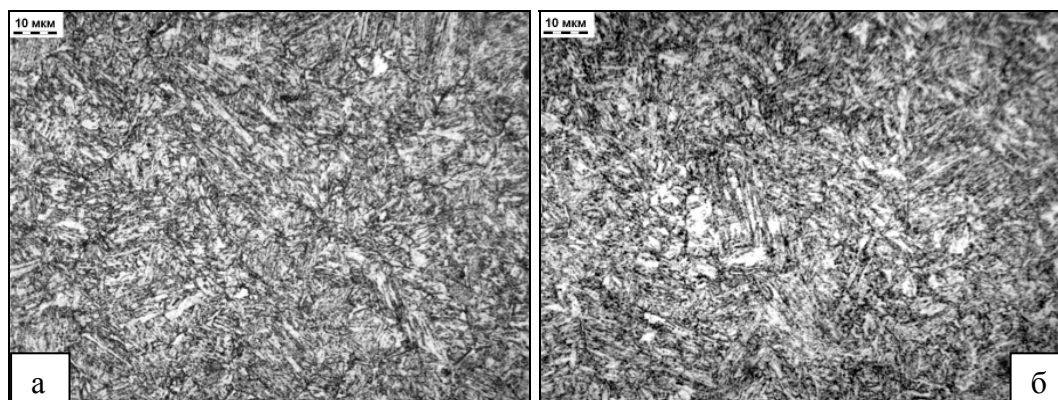


Рисунок 12– Микроструктура металла непрерывно-литой (а) и катаной (б)
заготовки после термической обработки

На рисунках 13-16 представлено распределение механических свойств труб, а именно временного сопротивления, предела текучести, относительного удлинения и ударной вязкости при температуре -60°C , изготовленных по старой и новой технологии, после термической обработки (закалка с последующим отпуском) на примере насосно-компрессорных труб размером 73x5,5 мм из стали 32ХГ группы прочности Л в хладостойком исполнении.

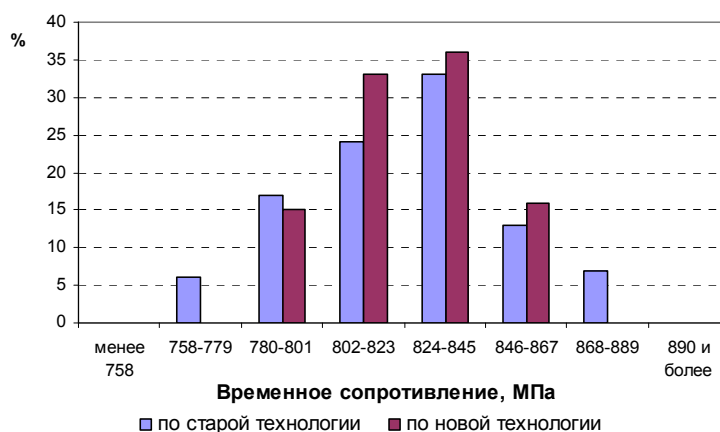


Рисунок 13 – Значения временного сопротивления

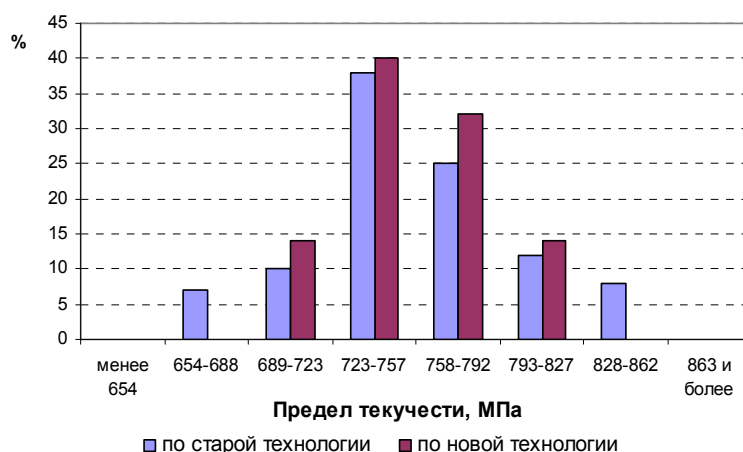


Рисунок 14 – Значения предела текучести

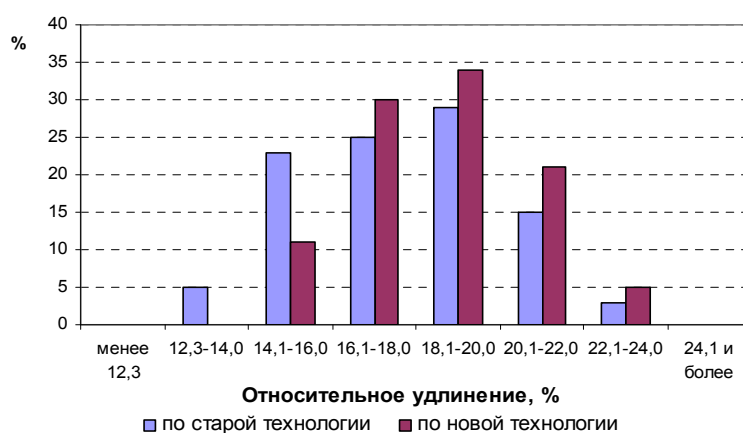


Рисунок 15 – Значения относительного удлинения

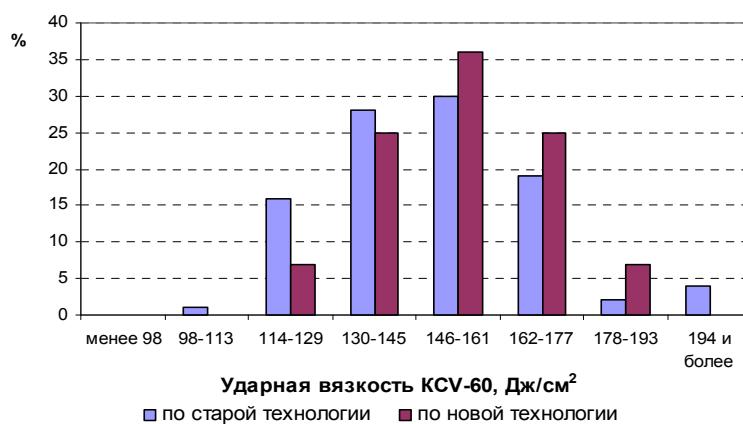


Рисунок 16 – Значения ударной вязкости при температуре -60°C

Установлено, что полученный уровень механических свойств труб в обоих случаях соответствует требованиям нормативной документации (ТУ 14-161-195). Однако следует отметить, что новая технология изготовления труб из непрерывно-литой заготовки обеспечивает получение требуемых механических свойств, уровня хладостойкости и коррозионной стойкости для групп прочно-

сти по ГОСТ – Д (Дхл), К (Кхл), Е (Ехл), Л (Лхл), М (Мхл) и по API 5CT – N80 тип Q, L80 тип 1, P110 в более узком диапазоне, чем из катанной заготовки.

В работе проведен анализ уровня брака при производстве труб на ТПА-80. Анализ уровня брака выполнен для насосно-компрессорных труб размером 73x5,5 мм из наиболее проблемных марок стали 32ХГ и 38Г2СФ, изготовленных из непрерывно-литых заготовок диаметром 150 мм поставки ОАО «СТЗ» и 156 мм поставки ОАО «ВТЗ», а также из катаных заготовок диаметром 120 мм поставки ОАО «НТМК». Данные по уровню брака, представленные за 2009 г. и отдельно за 2010 г. по август включительно, были обработаны с применением методов математической статистики. Объем каждой выборки был определен количеством плавок стали и составлял от 25 до 50 плавок.

Установлено, что по виду дефектов «наружная плена» качество готовой продукции, произведенной из непрерывно-литой заготовки, не уступает старому технологическому процессу изготовления труб из катаных заготовок. Новая технология обеспечивает отсутствие внутренних плен на поверхности готовых труб. В случае использования литых заготовок относительно катаных происходит увеличение количества дефектов «раковина-вдавов» в среднем в 2-3 раза, однако разработанные режимы обжатия совместно с новым способом резки непрерывно-литых заготовок обеспечивают уменьшение брака по дефектам «раковина-вдав» до уровня, соответствующего катаным заготовкам.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработана новая технологическая схема производства высококачественных насосно-компрессорных труб на ТПА-80 из непрерывно-литой заготовки. Для этого в линии ТПА-80 перед прошивным станом установлен трехвалковый стан винтовой прокатки, позволяющий обжимать литые заготовки диаметром 150÷156 мм до диаметра 120 мм. Новая технология производства бесшовных труб запатентована (патент РФ №2361689) и впервые была применена на ОАО «СинТЗ».

2. В результате анализа новой технологии показано, что применение операции обжатия непрерывно-литых заготовок совместно с разработанными на ОАО «СинТЗ» режимами термообработки обеспечивает получение высококачественных насосно-компрессорных труб, в том числе высокопрочных, а также в коррозионно-стойком и хладостойком исполнениях. Показано, что использование непрерывно-литых заготовок обеспечивает высокое качество готовой продукции по макро- и микроструктуре стали.
3. Разработан новый способ резки заготовок на ножницах горячей резки в линии ТПА-80, позволяющий совместить операции резки и профилирования концов заготовок (подана заявка на патент №2011118932). Найдены оптимальные калибровки ножей, применение которых способствует уменьшению глубины утяжины на заднем конце заготовки и повышению качества насосно-компрессорных труб.
4. Разработана калибровка валков обжимного стана, позволяющая за счет уменьшения глубины утяжины повысить качество готовой продукции (патент РФ №2377085). Кроме того, разработанная калибровка валков обеспечивает устойчивый захват заготовки в широком диапазоне значений относительного обжатия.
5. Качество готовой продукции, изготовленной из непрерывно-литых заготовок, не уступает качеству труб, произведенных из катаных заготовок. Исключение составил вид дефектов «раковина-вдав».
6. В результате исследований, проведенных с целью снижения уровня брака по дефектам «раковина-вдав», определено влияние технологических параметров процесса обжатия на образование утяжин и найдены оптимальные режимы прокатки. Показано, что наибольшее влияние на уменьшение глубины утяжины оказывает увеличение угла подачи до $16\div 18^\circ$ и предварительное формоизменение концов непрерывно-литых заготовок.
7. Результаты проведенных экспериментально-исследовательских работ позволили разработать и внедрить новые технические решения по модернизации технологии, которые позволили уменьшить количество дефектов «раковина-

вдав» на поверхности готовых труб при использовании непрерывно-литых заготовок в 2-3 раза.

8. В результате модернизации существующей технологии производства труб на ТПА-80 достигнуто снижение себестоимости труб около 10% , повышена производительность агрегата на 15% и увеличен выход годного до 99%.
9. Применение непрерывно-литых заготовок после обжата позволило улучшить условия прошивки, в результате чего уменьшилась разностенность получаемых гильз в среднем на $1 \div 2\%$, а износостойкость инструмента повысилась на $8 \div 10\%$.
10. Новая технология производства высококачественных горячекатаных труб из непрерывно-литой заготовки может быть рекомендована для внедрения при реконструкции существующих и создании новых трубопрокатных агрегатов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ

1. Бодров Ю.В., Овчинников Д.В., Чернышов Д.Ю. Использование обжимного стана в линии ТПА-80. Труды VII Конгресса прокатчиков, г. Москва, 2007 г. – М. : Черметинформация, 2007.
2. Бодров Ю.В., Овчинников Д.В., Чернышов Д.Ю. и др. Использование обжимного стана в линии ТПА-80 // Неделя металлов в Москве. 12-16 ноября 2007 г. : сб. трудов конф. – М. : Черметинформация, 2008.
3. Бодров Ю.В., Овчинников Д.В., Устьянцев В.Л., Богатов А.А. Исследование нестационарной стадии винтовой прокатки непрерывнолитых заготовок на трехвалковом обжимном стане // Труды XVII международной научно-технической конференции «ТРУБЫ – 2009». 2009. С. 287-288.
4. Овчинников Д.В., Ерпалов М.В., Богатов А.А. Совершенствование технологии обжата непрерывно-литой заготовки на трехвалковом обжимном стане винтовой прокатки // Труды XVIII Международной научно-технической конференции «ТРУБЫ – 2010».

5. Овчинников Д.В., Ерпалов М.В., Богатов А.А. Современная технология производства насосно-компрессорных труб из непрерывно-литой стали // Труды Международной конференции «Форсированное индустриальное инновационное развитие в металлургии», Республика Казахстан, 2010.
6. Овчинников Д.В., Ерпалов М.В., Богатов А.А. Развитие и внедрение процесса обжата непрерывно-литой заготовки на трехвалковом обжимном стане винтовой прокатки // Труды восьмого конгресса прокатчиков, г. Магнитогорск. 2010. С 294-300.
7. Овчинников Д.В., Ерпалов М.В., Богатов А.А. Новая технологическая схема производства насосно-компрессорных труб на ТПА-80 // Труды 9-ой международной конференции «Современные металлические материалы и технологии».
8. Овчинников Д.В., Богатов А.А., Ерпалов М.В. Исследование и разработка нового способа резки непрерывно-литых заготовок // Технология производства металлов и вторичных материалов. 2011.
9. Марченко Л.Г., Фадеев М.М., Бодров Ю.В., Овчинников Д.В. и др. Использование обжимного стана в линии ТПА 80 // Сталь. 2009. №7. С. 57-60.
10. Овчинников Д.В., Ерпалов М.В., Богатов А.А. Применение непрерывно-литой заготовки для производства высококачественных насосно-компрессорных труб на ТПА-80 // Производство проката. 2011. №12.
11. Пат. 2377085 Российская Федерация, МПК В 21 В 19/00. Технологический инструмент трехвалкового стана поперечно-винтовой прокатки / Овчинников Д.В. и др. ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Синарский трубный завод». – №2008130013/02 ; заявл. 21.07.2008 ; опубл. 27.12.2009, Бюл. №36.
12. Пат. 2361689 Российская Федерация, МПК В 21 В 19/04. Способ получения гильз / Овчинников Д.В. и др. ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Синарский трубный завод». – №2007145344/02 ; заявл. 06.12.2007 ; опубл. 20.07.2009, Бюл. №20.

Для заметок

Для заметок

Бумага писчая

Формат 60x84 1/16

Тираж 100 экз.

Заказ №1215

Ризография ОДиИО ОАО «СинТЗ»

623401, Свердловская обл., г. Каменск-Уральский, Заводской проезд, 1